



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104360197 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201410653280.6

G06F 19/00(2011.01)

(22)申请日 2014.11.14

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104360197 A

CN 103617372 A, 2014.03.05,  
CN 103149483 A, 2013.06.12,  
CN 102364655 A, 2012.02.29,  
CN 203275542 U, 2013.11.06,  
JP 昭59-230172 A, 1984.12.24,  
JP 特开2000-275294 A, 2000.10.06,  
李金亮等. 基于阻容网络的高压避雷器干扰  
电流分析.《电瓷避雷器》.2013,(第255期),第  
101-106页.

(43)申请公布日 2015.02.18

(73)专利权人 武汉大学  
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

审查员 黄金霞

(72)发明人 杜志叶 李金亮 李凌燕 阮江军  
柳杨

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222  
代理人 胡艳

(51)Int. Cl.

G01R 31/00(2006.01)

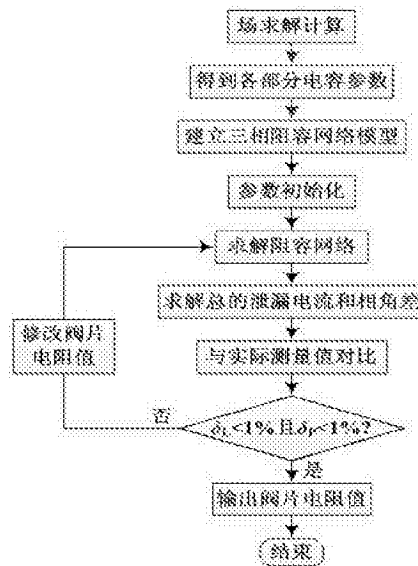
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法

(57)摘要

本发明公开一种基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法,包括步骤:步骤1,构建避雷器三维阻容网络模型;步骤2,基于三维有限元静电场对避雷器三维阻容网络模型求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容;步骤3,将泄漏电流测量装置安装于现场运行避雷器最下端法兰处,获得避雷器的泄漏电流实测值和相角差实测值;步骤4,迭代求解避雷器阀片电阻。本发明方法可精确获得避雷器运行状态下阀片电阻值,并且误差可控,能满足工程要求,从而实现避雷器运行状况的直接有效监测,同时可为电网运维人员提供准确的数据参考;适用于高压氧化锌避雷器的在线监测。



1. 基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法,其特征在于,包括:

步骤1,根据避雷器结构及实际布置情况,将避雷器各节阀片分别等效为一个电阻和一个电容的并联,将避雷器的法兰、电极和均压环分别等效为导体,构建避雷器三维阻容网络模型;

步骤2,根据避雷器实际运行条件下外部带电体尺寸,基于三维有限元静电场对避雷器三维阻容网络模型求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容;

步骤3,将泄漏电流测量装置安装于现场运行避雷器最下端法兰处,获得避雷器的泄漏电流实测值和相角差实测值;

步骤4,迭代求解避雷器阀片电阻,进一步包括子步骤:

4.1采用步骤2获得的避雷器间部分电容、避雷器阀片电容及当前避雷器阀片电阻初始化避雷器三维阻容网络模型,当前避雷器阀片电阻初始值根据经验预设;

4.2基于基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律求解避雷器三维阻容网络模型,获得避雷器的泄漏电流模拟值和相角差模拟值;

4.3将泄漏电流模拟值、相角差模拟值分别与泄漏电流实测值、相角差实测值作差获得泄漏电流差值和相角差值,若泄漏电流差值和相角差值均小于对应的预设阈值,则当前避雷器阀片电阻为获得的避雷器阀片电阻,执行步骤5;否则,执行步骤4.4;

4.4按照预设规则增大或减小当前避雷器阀片电阻,然后执行步骤4.1。

2. 如权利要求1所述的基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法,其特征在于:

步骤2具体为:

将避雷器的接地支撑及最下端法兰看作大地,设置材料属性和边界条件,采用Ansys软件工具求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容,其中,材料属性包括法兰、电极、均压环、空气和阀片的介电常数,边界条件包括以加载系统电压为避雷器最上端、以零电位为最下端、以零电位为空气边界及无穷远处。

## 基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于高压氧化锌避雷器在线监测技术,具体涉及一种基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法。

### 背景技术

[0002] 电力系统由于雷击可能会造成大气过电压,由于电力系统内部的电磁能量转换可能会引起内部过电压。对于过电压通常采用过电压保护器进行防范,目前使用较为普遍的是氧化锌避雷器。避雷器的作用是限制过电压以保护电气设备,避雷器就是在线路或设备上人为地制造绝缘薄弱点即间隙装置,间隙的击穿电压比线路或设备的雷电冲击绝缘水平低,在正常运行电压下间隙处于隔离绝缘状态,在过电压下间隙被击穿接地,放电降压起到保护线路或设备绝缘的作用。

[0003] 但随着避雷器在特定环境下的使用,金属氧化物避雷器的性能会慢慢变差,导致其性能变差的原因主要有以下两个:一是避雷器结构密封不严导致设备内部受潮,其特征量是避雷器的阀片电阻会变小;二是氧化锌电阻片长期承受工频电压而逐渐老化,使其非线性特性变差,其特征量也是避雷器阀片电阻会变小。因此,检测金属氧化物避雷器运行是否正常的关键是正确确定避雷器阀片电阻是否发生变化,即确定每相避雷器每节阀片电阻的阻值。

[0004] 但由于周围带电设备以及被试避雷器自身存在的相间干扰,使得常规的带电测试无法准确测得泄漏电流的阻性分量,使得测量值难以真实反映避雷器的性能状况,尤其是难以发现设备的早期故障。所以为准确地消除实际运行条件下的干扰,得到避雷器的阀片电阻值,尤为重要。

[0005] 由于避雷器实际运行中,大都成一字排列且三相距离较近,且周围会存在其他带电体,相间干扰和周围带电体的干扰对在线监测的影响不容忽视。目前在国内的研究中,传统的氧化锌避雷器在线监测方法有:全电流法、谐波法和容性电流补偿法。这些方法通过测量避雷器阻性电流来判断避雷器的运行状态,不能考虑相间和周围带电体干扰对在线监测的影响。区别于传统的在线监测方法,一些学者提出了三相同步测量技术和基于电压过零点电流幅值分析的阻性电流提取方法,这两种方法虽考虑了相间干扰的影响,但是将每相避雷器作为一个整体来计算对地电容和相间电容,且忽略了A相与C相相间电容的影响,对于电压等级较高法兰数较多的避雷器,这两种方法的误差较大。以上所述方法均是通过对避雷器阻性电流进行测量来反映避雷器的运行情况,不能像阀片电阻这样更加直接准确的反映避雷器的运行状态。

### 发明内容

[0006] 为解决现有避雷器在线监测技术不能准确消除相间和周围带电体干扰的问题,本发明提供了一种基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法,该方法可准确获得三相避雷器运行状态下阀片电阻,从而实现避雷器运行状态的准确判断。

[0007] 本发明首先依据实际模型建立三相避雷器阻容网络模型,然后采用有限元静电场求解法计算三相避雷器部分电容,接着利用迭代算法求解阀片电阻,准确计算实际运行状态下三相避雷器每节阀片电阻,根据阀片电阻变化反映避雷器运行状态。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用如下的技术方案:

[0009] 一种基于阻容网络的避雷器阀片电阻监测方法,包括步骤:

[0010] 步骤1,根据避雷器结构及实际布置情况,将避雷器各节阀片分别等效为一个电阻和一个电容的并联,将避雷器的法兰、电极和均压环分别等效为导体,构建避雷器三维阻容网络模型;

[0011] 步骤2,根据避雷器实际运行条件下外部带电体尺寸,基于三维有限元静电场对避雷器三维阻容网络模型求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容;

[0012] 步骤3,将泄漏电流测量装置安装于现场运行避雷器最下端法兰处,获得避雷器的泄漏电流实测值和相角差实测值;

[0013] 步骤4,迭代求解避雷器阀片电阻,进一步包括子步骤:

[0014] 4.1采用步骤2获得的避雷器间部分电容、避雷器阀片电容及当前阀片电阻初始化避雷器三维阻容网络模型,当前阀门电阻初始值根据经验预设;

[0015] 4.2基于基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律求解避雷器三维阻容网络模型,获得避雷器的泄漏电流模拟值和相角差模拟值;

[0016] 4.3将泄漏电流模拟值、相角差模拟值分别与泄漏电流实测值、相角差实测值作差获得泄漏电流差值和相角差值,若泄漏电流差值和相角差值均小于对应的预设阈值,则当前阀片电阻为获得的阀片电阻,执行步骤5;否则,执行步骤4.4;

[0017] 4.4按照预设规则增大或减小当前阀片电阻,然后执行步骤4.1。

[0018] 步骤2具体为:

[0019] 将避雷器的接地支撑及最下端法兰看作大地,设置材料属性和边界条件,采用Ansys软件工具求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容,其中,材料属性包括法兰、电极、均压环、空气、阀片的介电常数,边界条件包括以加载系统电压为避雷器最上端、以零电位为最下端、以零电位为空气边界及无穷远处。

[0020] 从物理意义上说,相间干扰也是外界带电体干扰的一种,因为相对于本相而言,相邻相的干扰和外界带电体的干扰对该相的影响原理是一致的。而带电导体的存在会使得整个避雷器阻容网络的结构和具体部分电容的数值发生变化,会影响避雷器的实际测量结果,因此也会影响避雷器阀片电阻的计算,因此需要考虑带电体干扰的影响,以便准确计算出阀片电阻。

[0021] 针对相间干扰和带电体干扰的影响因素,本发明不是采用传统的测量避雷器泄漏电流中的阻性分量来判断避雷器运行状态,而是通过基于避雷器阻容网络模型的迭代算法计算避雷器阀片电阻值;与根据泄漏电流判断避雷器运行状态相比,采用避雷器阀片电阻判断避雷器实际运行状况,物理意义更加清晰准确,能够更加真实的反映避雷器的实际运行状况。

[0022] 和现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0023] (1) 高电压等级的避雷器由于法兰数较多,相见耦合更加复杂,采用本发明方法可精确获得避雷器运行状态下阀片电阻值,并且误差可控,能满足工程要求,从而实现避雷器

运行状况的直接有效监测,同时可为电网运维人员提供准确的数据参考。

[0024] (2)适用于高压氧化锌避雷器的在线监测。

### 附图说明

[0025] 图1为本发明的实施方式流程图;

[0026] 图2为500kV单相避雷器结构示意图,其中,图(a)为避雷器结构示意图,(b)为氧化锌阀片结构示意图;

[0027] 图3为500kV三相避雷器有限元模型;

[0028] 图4为图3中避雷器的电位分布云图;

[0029] 图5为图3中避雷器的三维阻容网络模型,其中,图(a)为仅考虑相间干扰的避雷器三维阻容网络模型,图(b)为考虑外界带电体干扰的避雷器三维阻容网络模型。

[0030] 图中,1-均压环,2-阀片,3-法兰,4-接地支撑;5-电阻片,6-金属垫片。

### 具体实施方式

[0031] 图1为本发明方法具体流程图,步骤如下:

[0032] 步骤1,根据避雷器结构及实际布置情况,将避雷器各节阀片分别等效为一个电阻和一个电容的并联,将避雷器的法兰、电极和均压环分别等效为导体,建立避雷器三维阻容网络模型。

[0033] 传统的避雷器阻容网络模型是将避雷器整体等效为一个电阻和一个电容的并联,而本发明则是将避雷器的每节阀片分别等效为一个电阻和一个电容的并联,如具有三节阀片的500kV高压单相避雷器,其等效模型为三组电阻和电容的并联电路的串联,相对于传统避雷器阻容网络模型,本发明避雷器阻容网络模型由于考虑了不同相避雷器不同法兰间的部分电容影响,能准确的反映相间干扰的影响。

[0034] 步骤2,根据避雷器实际运行条件下外部带电体尺寸,基于三维有限元静电场对避雷器三维阻容网络模型求解避雷器间部分电容和避雷器阀片电容。

[0035] 本步骤属于本领域内公知技术,具体可采用Ansys软件工具实现避雷器间部分电容和避雷器阀片电容的求解。

[0036] 步骤3,将泄漏电流测量装置安装于现场运行避雷器最下端法兰处,获得避雷器的泄漏电流实测值和相角差实测值。

[0037] 步骤4,迭代求解避雷器阀片电阻,采用matlab软件工具实现,具体为:

[0038] 4.1采用步骤2获得的避雷器间部分电容、避雷器阀片电容及当前阀片电阻初始化避雷器三维阻容网络模型,当前阀门电阻初始值根据经验预设。

[0039] 4.2基于基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律求解避雷器三维阻容网络模型,获得避雷器的泄漏电流模拟值和相角差模拟值。

[0040] 4.3将泄漏电流模拟值、相角差模拟值分别与泄漏电流实测值、相角差实测值作差获得泄漏电流差值和相角差值,若泄漏电流差值和相角差值均小于对应的阈值,则当前阀片电阻为获得的阀片电阻,执行步骤5;否则,执行步骤4.4;

[0041] 本具体实施中,将泄漏电流差值和相角差值对应的阈值均设为1%。

[0042] 4.4按照预设规则增大或减小当前阀片电阻,然后执行步骤4.1。

[0043] 步骤5,根据阀片电阻判断避雷器实际运行状态。

[0044] 运行经验表明,热破坏、暂态、谐振过电压冲击及避雷器内部受潮等因素都会加速避雷器阀片的老化,导致避雷器阀片电阻发生变化,因此,通过对阀片电阻进行监测将会最直接准确的反映避雷器的运行状态。若避雷器阀片电阻与安装时的初始测量值相比发生突变,则认为避雷器需要进行检修和替换。

[0045] 下将结合附图,以一组500kV避雷器为例详述其阀片电阻分析求解过程。

[0046] 图2是某500kV单相避雷器结构图。避雷器本体主要由均压环(1)、氧化锌阀片(2)、法兰(3)和接地支撑(4)组成。氧化锌阀片(2)主要由电阻片(5)、金属垫片(6)和电容棒组成。根据避雷器结构并设置各种材料属性(即介电常数),计算避雷器氧化锌阀片(2)电容。本实施例中避雷器阀片电容计算值为 $5.47e^{-11}F$ 。

[0047] 图3是根据避雷器现场布置建立的三相避雷器三维1:1有限元模型,考虑到模型对称性,建立1/2模型进行数值计算。计算避雷器间部分电容时,不能简单地将避雷器电容看成均压环和电极对大地的电容,把中间的法兰和阀片组看成介质。这种分析方法过于简化,难以模拟出真实的物理情况。实际情况下,由于每节阀片间法兰高度几乎为阀片高度一半,并且法兰作为导体会有一部分电容存在,所以也应将法兰看成组件,由于接地支撑以及最下端法兰和大地相连,其电位为零,所以将接地支撑以及最下端法兰都看作大地,进行电容求解,虽然求解复杂,但结果更准确。并据此建立图5所示的避雷器三相阻容网络。

[0048] 根据三相避雷器实际尺寸,考虑母线作用,建立图3所示的三相避雷器模型,设置材料属性和边界条件,本具体实施中,将法兰、导线和空气的相对介电常数设为1,氧化锌阀片相对介电常数设为750,边界条件为每相避雷器最上端为加载系统电压,最下端为零电位,空气边界及无穷远处加载零电位;然后,利用三维有限元静电场求解三相避雷器间的部分电容参数,见表1~6。

[0049] 表1 A相部分电容计算结果

部分电容名称	3D有限元数值计算结果 (F)
$C_{10}$	0.75305E-10
$C_{20}$	0.31344E-10
$C_{30}$	0.30995E-10
$C_{12}$	0.94140E-11
$C_{13}$	0.25825E-11
$C_{23}$	0.36264E-11

[0051] 表2 B相部分电容计算结果

部分电容名称	3D有限元数值计算结果 (F)
$C_{40}$	0.75435E-10
$C_{50}$	0.31342E-10
$C_{60}$	0.31015E-10
$C_{45}$	0.94166E-11
$C_{46}$	0.25987E-11
$C_{56}$	0.36252E-11

[0053] 表3 C相部分电容计算结果

部分电容名称	3D 有限元数值计算结果 (F)
C <sub>70</sub>	0.75308E-10
C <sub>80</sub>	0.31298E-10
C <sub>90</sub>	0.30967E-10
C <sub>78</sub>	0.93900E-11
C <sub>79</sub>	0.25950E-11
C <sub>89</sub>	0.36079E-11

[0055] 表4 AB相互电容计算结果

互电容名称	3D 有限元数值计算结果 (F)
C <sub>14</sub>	0.14349E-11
C <sub>15</sub>	0.35050E-12
C <sub>16</sub>	0.30999E-12
C <sub>24</sub>	0.35199E-12
C <sub>25</sub>	0.10763E-12
C <sub>26</sub>	0.10993E-12
C <sub>34</sub>	0.31113E-12
C <sub>35</sub>	0.10959E-12
C <sub>36</sub>	0.12544E-12

[0057] 表5 BC相互电容计算结果

互电容名称	3D 有限元数值计算结果 (F)
C <sub>47</sub>	0.14395E-11
C <sub>48</sub>	0.35230E-12
C <sub>49</sub>	0.31125E-12
C <sub>57</sub>	0.35136E-12
C <sub>58</sub>	0.10760E-12
C <sub>59</sub>	0.10960E-12
C <sub>67</sub>	0.31019E-12
C <sub>68</sub>	0.10944E-12
C <sub>69</sub>	0.12492E-12

[0059] 表6 AC相互电容计算结果

互电容名称	3D 有限元数值计算结果 (F)
C <sub>17</sub>	0.87694E-13
C <sub>18</sub>	0.20583E-13
C <sub>19</sub>	0.19009E-13
[0060] C <sub>27</sub>	0.20433E-13
C <sub>28</sub>	0.24661E-11
C <sub>29</sub>	0.37460E-11
C <sub>37</sub>	0.18891E-13
C <sub>38</sub>	0.52520E-14
C <sub>39</sub>	0.54022E-14

[0061] 图5为等效的500kV避雷器阻容网络模型,避雷器最上端导体1、4和7由最上端法兰和两个均压环组成,导体2、5和8由中间的金属法兰构成,导体3、6和9由最下端法兰构成。C<sub>i0</sub> (i=1、2、3、...9) 代表第i个金属导体的对地电容,C<sub>ij</sub> (i≠j, i、j=1、2、3、...9) 代表第i个金属导体与第j个金属导体间的部分电容。

[0062] 图4为图3中避雷器在运行条件下的电位分布示意图,用来验证本发明3D有限元数值计算的准确性。对实际运行的避雷器加上相应的实测电位荷载,得到电位分布云图,可以直观地反映出避雷器的电位分布状态,同时也能分析有限元建模的准确性。

[0063] 图5为三相避雷器的等效阻容网络模型,其中图5 (a) 为仅考虑相见干扰的避雷器三维阻容网络模型,图5 (b) 为考虑外界带电体干扰的避雷器三维阻容网络模型,下面以图5 (a) 为例说明泄漏电流和相角差的求解过程。

[0064] 基于基尔霍夫电压定律和基尔霍夫电流定律,列出(1)~(3)所示方程,其中:I<sub>LA</sub>、I<sub>LB</sub>、I<sub>LC</sub>分别表示A相、B相、C相避雷器的泄漏电流;U<sub>i</sub> (i=1、2、3、...9) 表示各导体的对地电压,通常情况下,避雷器阀片可看成是一个电阻和一个电容的并联,R<sub>F1</sub>~R<sub>F9</sub>表示阀片电阻,C<sub>F1</sub>~C<sub>F9</sub>表示阀片电容;C<sub>ij</sub> (i≠j, i、j=1、2、3、...9) 表示导体i和导体j间的互部分电容,C<sub>i0</sub> (i=1、2、3、...9) 表示导体i的对地电容,f表示系统频率,本具体实施中f为50Hz。

[0065]

$$\begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{23} & Y_{25} & Y_{26} & Y_{28} & Y_{29} \\ Y_{32} & Y_{33} & Y_{35} & Y_{36} & Y_{38} & Y_{39} \\ Y_{52} & Y_{53} & Y_{55} & Y_{56} & Y_{58} & Y_{59} \\ Y_{62} & Y_{63} & Y_{65} & Y_{66} & Y_{68} & Y_{69} \\ Y_{82} & Y_{83} & Y_{85} & Y_{86} & Y_{88} & Y_{89} \\ Y_{92} & Y_{93} & Y_{95} & Y_{96} & Y_{98} & Y_{99} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ U_3 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_8 \\ U_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Y_{21}U_1 - Y_{24}U_4 - Y_{27}U_7 \\ -Y_{31}U_1 - Y_{34}U_4 - Y_{37}U_7 \\ -Y_{51}U_1 - Y_{54}U_4 - Y_{57}U_7 \\ -Y_{61}U_1 - Y_{64}U_4 - Y_{67}U_7 \\ -Y_{81}U_1 - Y_{84}U_4 - Y_{87}U_7 \\ -Y_{91}U_1 - Y_{94}U_4 - Y_{97}U_7 \end{bmatrix} \quad (1)$$



$$[0066] \begin{cases} \omega = 2\pi f \\ Y_{21} = -1/R_{F1} - j\omega(C_{F1} + C_{12}) \\ Y_{22} = 1/R_{F1} + 1/R_{F2} + j\omega(C_{20} + C_{12} + C_{23} + C_{24} + C_{25} + C_{26} + C_{27} + C_{28} + C_{29} + C_{F1} + C_{F2}) \\ Y_{23} = -1/R_{F3} - j\omega(C_{F3} + C_{23}) \\ Y_{24} = -j\omega C_{24}; \quad Y_{25} = -j\omega C_{25} \\ Y_{26} = -j\omega C_{26}; \quad Y_{27} = -j\omega C_{27} \\ Y_{28} = -j\omega C_{28}; \quad Y_{29} = -j\omega C_{29} \end{cases} \quad (2)$$

$$[0067] \begin{cases} I_{LA} = U_3(1/R_{F3} + j\omega C_{F3}) \\ I_{LB} = U_6(1/R_{F6} + j\omega C_{F6}) \\ I_{LC} = U_9(1/R_{F9} + j\omega C_{F9}) \end{cases} \quad (3)$$

[0068] 三相500kV避雷器的测量数据见表7,三相的相角差关系为 $\partial_A < \partial_B < \partial_C$ ,阻性电流的大小关系为 $I_{AR} > I_{BR} > I_{CR}$ ,上述关系证实了相间干扰对测量结果的影响。

[0069] 表7 500kV避雷器测量结果

[0070]

避雷器	类型	泄漏电流(mA)	阻性电流(mA)	相角差
500kV	A相	1.227	0.140	83.43°
	B相	1.103	0.106	84.48°
	C相	1.135	0.085	85.70°

[0071] 根据方程(1)~(3)并利用迭代算法,计算得到的三相避雷器的各相阀片电阻:A相避雷器的阀片电阻为 $0.795 \times 10^9 \Omega$ ,B相避雷器的阀片电阻为 $0.795 \times 10^9 \Omega$ ,C相避雷器的阀片电阻为 $0.660 \times 10^9 \Omega$ ,而三相避雷器阀片电阻实际测量值为 $0.795 \times 10^9 \Omega$ ,采用本发明计算的阀片电阻值和变电站内阀片电阻实际测量值误差很小,因此可通过阀片电阻值来判断避雷器的实际运行状态。

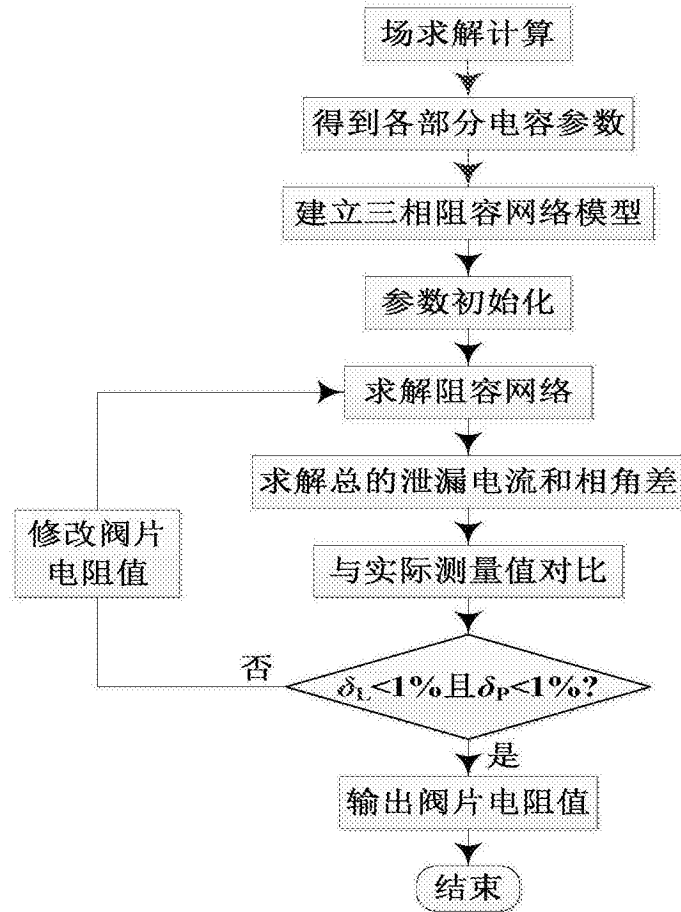


图1

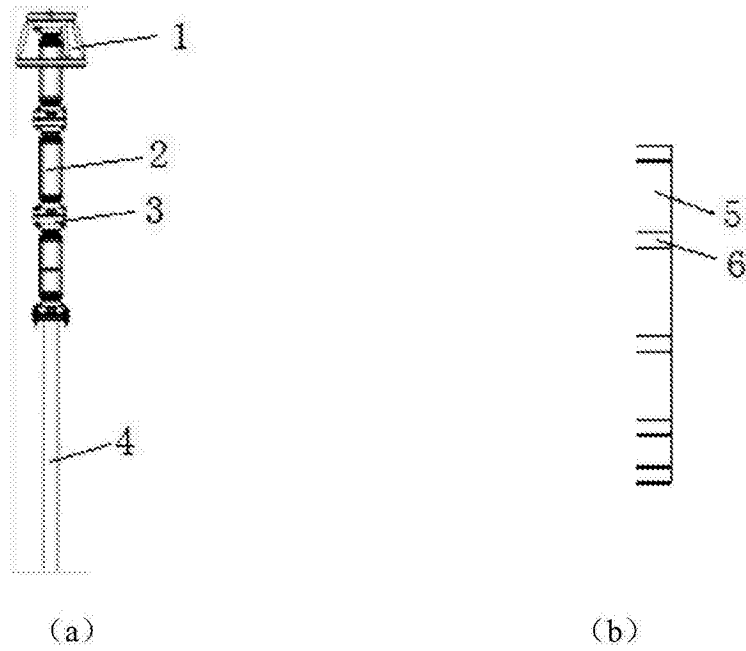


图2

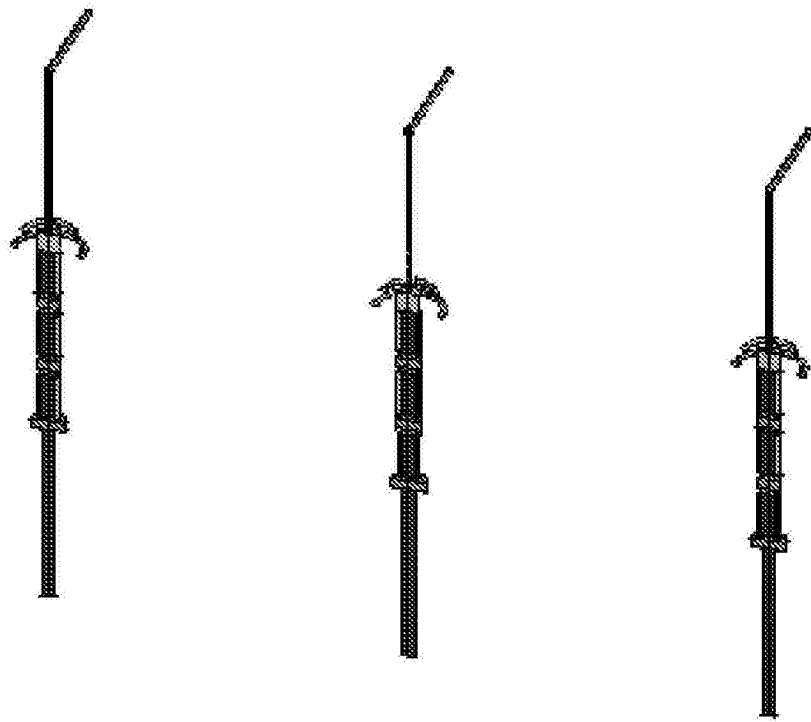


图3

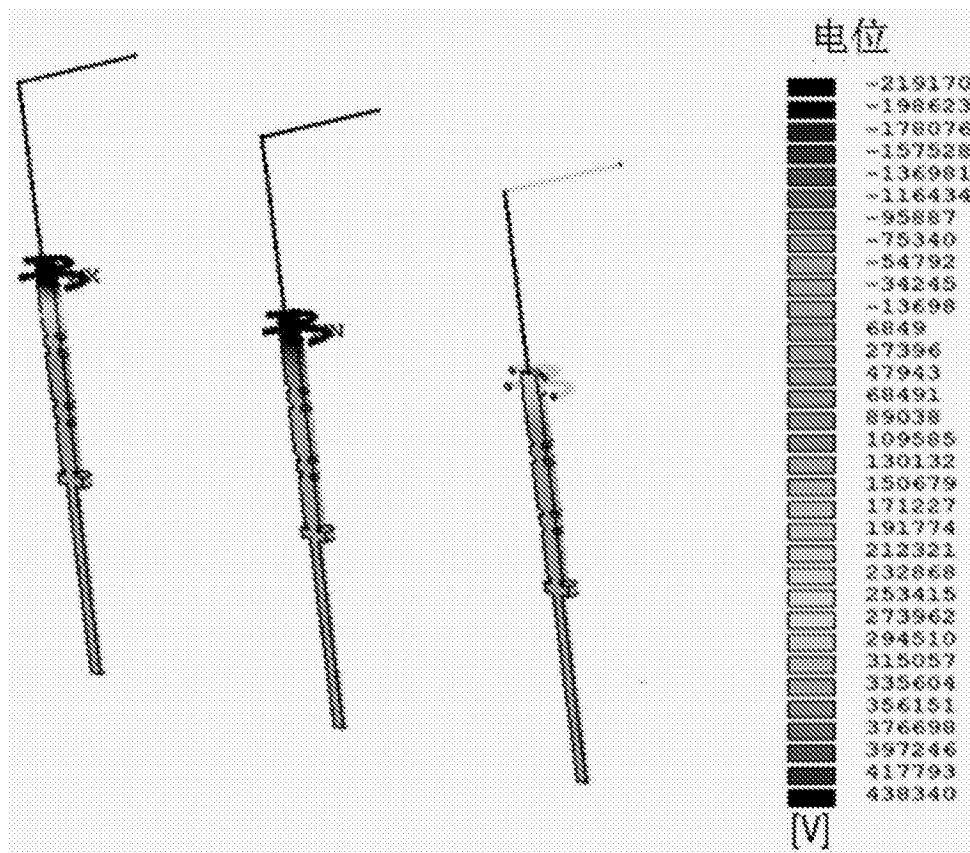
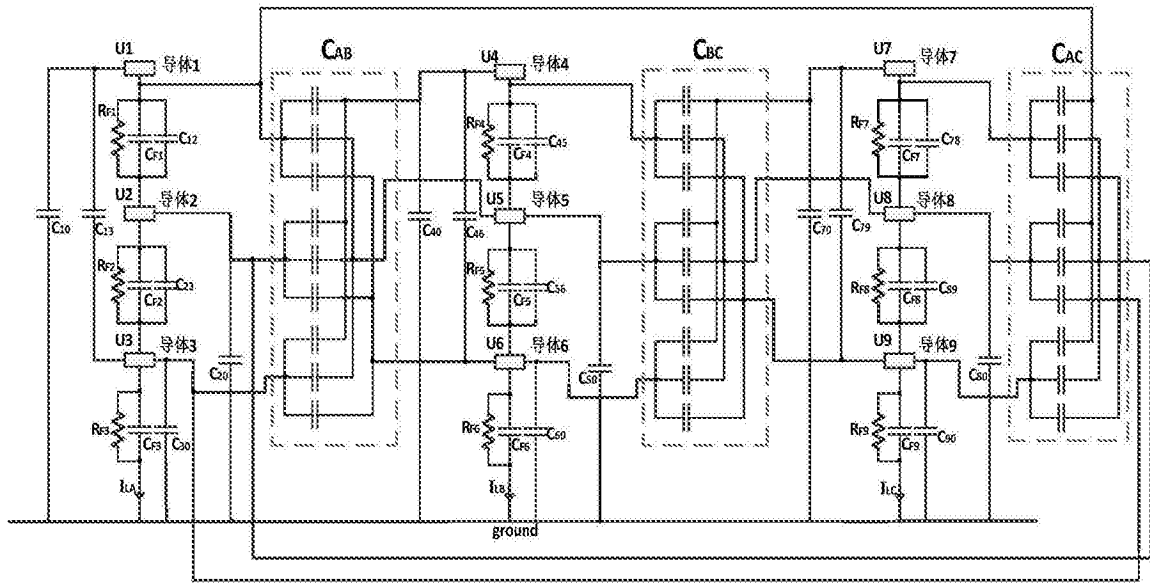
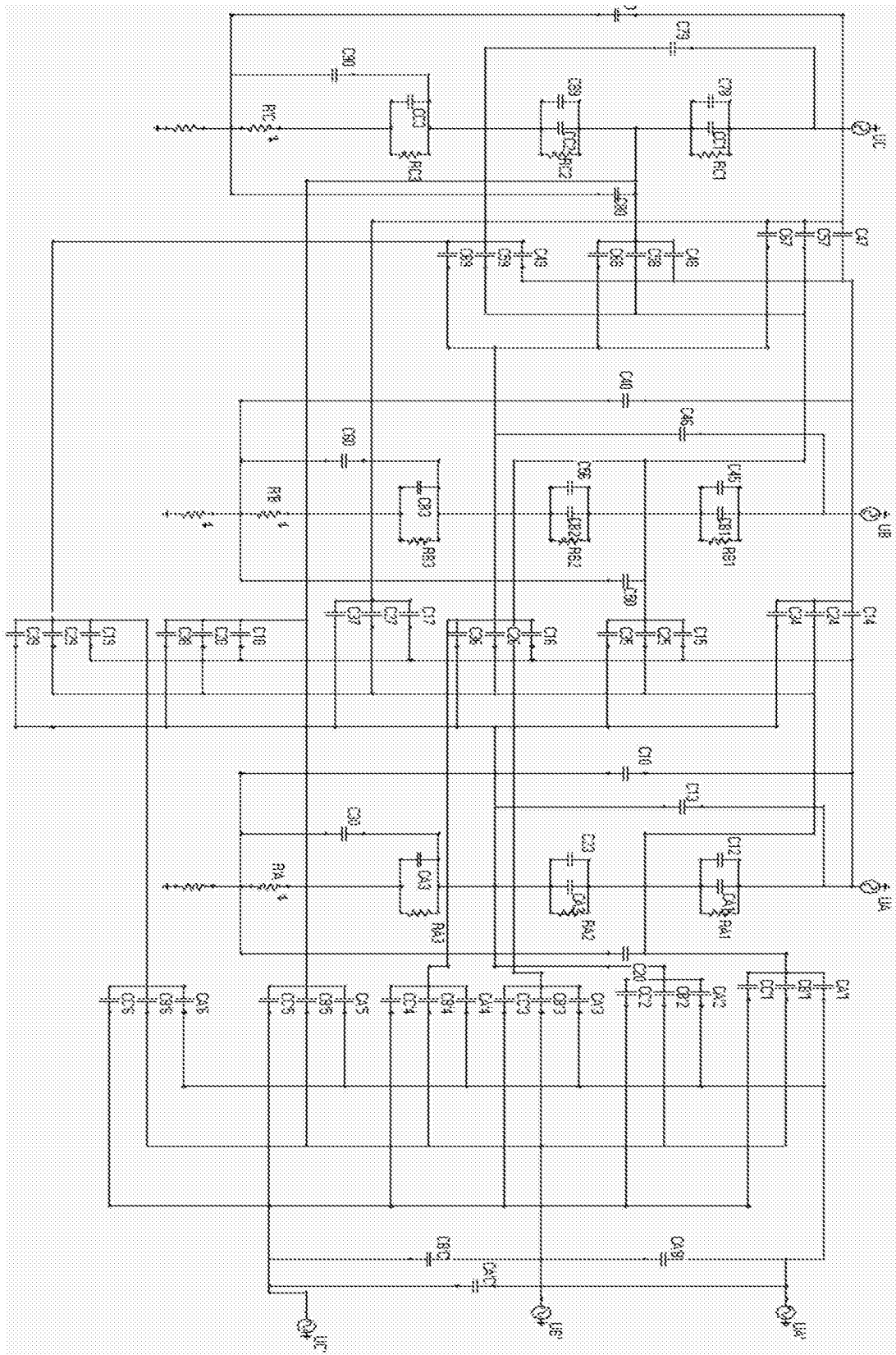


图4



(a)



(b)

图5